

BREVET D'INVENTION

Gr. 15. — Cl. 2.

N° 1.136.370

Classification internationale :

F 25 h

**Perfectionnements apportés aux appareils pour transmettre de la chaleur d'un gaz à un autre à travers des parois métalliques.**

Société dite : COMBUSTION ENGINEERING, INC. résidant aux États-Unis d'Amérique.

Demandé le 6 septembre 1955, à 16<sup>h</sup> 25<sup>m</sup>, à Paris.

Délivré le 29 décembre 1956. — Publié le 13 mai 1957.

(Demande de brevet déposée aux États-Unis d'Amérique le 5 novembre 1954,  
au nom de M. Arthur Templeton HUNTER.)

L'invention est relative aux réchauffeurs d'air dans lesquels l'air est chauffé par passage en relation d'échange thermique indirect avec des gaz de combustion. Elle se rapporte plus particulièrement à un réchauffeur d'air de ce genre utilisant un matériau à l'état divisé, amené à l'état fluide.

Conformément à l'invention, le réchauffeur d'air comprend plusieurs voies de passages parallèles espacées, qui peuvent être formées au moyen de tubes ou de conduits et dont les extrémités sont reliées dans des plaques à tubes et conduisent directement dans une chambre, laquelle est limitée sur un côté par un écran éloigné de la plaque à tubes. Les gaz de combustion passent à travers ces voies de passage dans l'intérieur desquelles est disposé un matériau à l'état divisé qui est maintenu à l'état fluide par l'écoulement des gaz, les écrans espacés ayant pour rôle d'empêcher la sortie du matériau à l'état divisé. La surface extérieure de chacun des passages est pourvue d'ailettes annulaires s'étendant en direction radiale et l'air est dirigé sur toute la surface extérieure de ces passages dans une direction transversale à leur axe principal et parallèlement aux plans des ailettes radiales. Avec ce réchauffeur d'air, la transmission totale de chaleur, des gaz de combustion chauds à l'air, est beaucoup plus grande que celle que l'on peut obtenir avec les réchauffeurs d'air connus de mêmes dimensions, ce résultat étant obtenu par l'usage nouveau du matériau à l'état fluide et grâce à l'augmentation de surface.

La technique de fluidification consiste à faire passer un gaz à travers un matériau à l'état divisé à une vitesse telle que le corps de ce matériau soit amené à un état d'agitation analogue à celui d'un liquide en ébullition, les particules de matière se déplaçant rapidement à l'intérieur de la masse et celle-ci étant à l'état que l'on dénomme pseudo-liquide. Lorsqu'il est à cet état fluidifié, le matériau n'est pas entraîné le long du courant de gaz

et bien qu'il soit dilaté de sorte qu'il occupe considérablement plus de volume que lorsqu'il est à l'état de repos ou non fluidifié, le gaz passe à travers le corps du matériau et le quitte au niveau pseudo-liquide de la masse ou à l'endroit que l'on dénomme zone de séparation. Ce type de fluidification est quelquefois désigné sous le nom de fluidification sous « phase dense » et il est bien entendu que lorsque le terme « fluidification » est utilisé dans la description, il se rapporte à ce genre de fluidification. Lorsqu'un corps de matériau à l'état divisé est dans cette condition ou cet état de fluidification, il a plusieurs des propriétés d'un liquide et il en résulte des taux extrêmement élevés de transmission de chaleur entre le gaz fluidifié et la surface d'échange thermique qui est en contact avec le matériau fluidifié. Ces taux d'échange thermique sont de l'ordre de 81,3 à 108,5 kcal/m<sup>2</sup> et davantage, des taux allant jusqu'à 271 kcal/m<sup>2</sup> pouvant être obtenus suivant la texture du matériau et la grosseur de ses particules. Toutefois, le matériau doit être fluidifié pour obtenir ces taux élevés de transmission thermique et si la vitesse du gaz est soit trop lente, soit trop élevée pour produire la fluidification, ces taux élevés ne sont pas atteints. Dans la présente invention, un corps fluidifié ou masse est utilisé d'une manière nouvelle pour augmenter considérablement la capacité d'un échangeur thermique du type récupérateur.

La vitesse, à laquelle la chaleur peut être transmise d'un gaz chaud tel qu'un gaz de combustion vers un gaz à chauffer tel que l'air, dépend nécessairement de la vitesse la plus basse de transmission de ces deux fluides qui constitue sa limite, c'est-à-dire de la vitesse de transmission thermique entre le gaz et la surface de transmission ou entre l'air et cette même surface, suivant celle qui est la plus faible. Dans le cas d'un réchauffeur d'air par le gaz dans lequel la chaleur est transmise de gaz de combustion chauds à de l'air, à travers une

surface de transmission thermique métallique, la vitesse de transmission thermique existant, d'une part, entre le gaz et la surface de transmission et, d'autre part, entre l'air et la surface de transmission thermique, est sensiblement la même pour le même débit d'écoulement des deux fluides et si les conditions d'écoulement sont identiques. Dans le réchauffeur d'air tubulaire usuel, où les gaz de combustion passent à travers l'intérieur des tubes et l'air passe latéralement sur la face extérieure de ces tubes, la vitesse de transmission thermique entre le gaz et la paroi du tube est quelque peu inférieure à celle existant entre l'air et la paroi du tube. Cela est dû, cependant, à la différence entre les conditions d'écoulement, du fait que l'écoulement d'air sur les parois extérieures des tubes sera beaucoup plus turbulent que l'écoulement de gaz à l'intérieur de ces tubes.

Cependant, que les coefficients de transmission thermique soient les mêmes ou que l'un soit légèrement inférieur à l'autre, il est impossible d'augmenter la capacité du réchauffeur d'air d'une quantité notable en prévoyant une surface plus étendue sur un des côtés seulement de la paroi de transmission thermique en vue de son contact avec l'un des milieux fluides. La raison en est que la vitesse ou taux de transmission thermique entre le fluide et la paroi sur le côté, qui n'est pas pourvu de cette surface étendue, réglera dans une large mesure la quantité de chaleur qui sera transmise du milieu chauffant au milieu chauffé, puisque cette vitesse de transmission thermique n'est pas notablement différente de celle existant entre le fluide et le côté qui a été pourvu d'une surface étendue. Ainsi, dans un réchauffeur d'air tubulaire conventionnel, il n'y aura pas d'augmentation substantielle de la transmission thermique totale en prévoyant une surface étendue sur la face extérieure des tubes, du fait que la vitesse de transmission thermique entre les gaz de combustion et la surface intérieure des parois tubulaires contrôlera et empêchera toute augmentation notable de la chaleur transmise. Pour augmenter dans une mesure importante la transmission thermique totale dans un tel cas, il est nécessaire de réaliser une extension de surface à l'intérieur des tubes ou d'augmenter le taux de transmission thermique entre le gaz et la surface de paroi intérieure du tube. Etant donné que, aussi bien des difficultés de construction que la probabilité de colmatage s'opposent dans la pratique à l'installation de surfaces étendues à l'intérieur du tube, conformément à l'invention, le taux de transmission thermique effectif entre les gaz de combustion et la paroi du tube est augmenté en utilisant un milieu fluidifié, le fait étant connu dans la technique de fluidification qu'il existe des taux élevés de transmission thermique entre le milieu gazeux de fluidification et les particules qui

sont fluidifiées de même qu'entre les particules et la surface d'échange thermique avec laquelle elles sont en contact.

Un des buts de l'invention est de réaliser un réchauffeur d'air par un gaz, qui utilise un milieu fluidifié et qui ait une capacité nettement plus grande que celle des réchauffeurs d'air connus de dimensions comparables.

D'autres buts et caractéristiques de l'invention apparaîtront au cours de la description détaillée qui suit.

L'invention concerne plus particulièrement la disposition, la construction et la combinaison d'éléments caractéristiques, de manière à atteindre les buts poursuivis comme décrit en détail ci-dessous à l'aide d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple et montré sur le dessin ci-annexé.

La figure unique de ce dessin montre, en perspective, un appareil, établi selon l'invention, certaines parties étant montrées en coupe ou étant arrachées pour montrer la construction intérieure de cet appareil.

Le réchauffeur d'air, montré sur le dessin, comprend un faisceau de tubes désigné dans son ensemble par 10 et composé de plusieurs tubes parallèles espacés latéralement 12 qui sont reliés à leurs extrémités opposées avec les plaques à tubes 14, le faisceau étant enfermé à l'intérieur du conduit ou passage de gaz 16 qui est limité par les parois 18, 20, 22 et 24 et à travers lequel le gaz de combustion est dirigé vers le haut comme indiqué par la flèche 26.

A l'intérieur des tubes 12 est placé un matériau à l'état divisé 28 à particules de dimension relativement faible, qui est capable d'être fluidifié pour des vitesses de gaz de l'ordre de celles de l'écoulement du gaz vers le haut à travers les tubes. A une légère distance au-dessous de la plaque à tubes inférieure 14 et au-dessus de la plaque supérieure 14 sont disposés les écrans ou organes perforés 30 et 32 respectivement, ces écrans étant d'une finesse de maille suffisante pour empêcher le passage du matériau à l'état divisé à travers ces écrans. Si l'il n'y a pas d'écoulement de gaz à travers le conduit 16, le matériau à l'état divisé sera supporté par l'écran 30 ou analogue, le niveau supérieur du matériau étant placé un peu au-dessous du niveau du sommet des tubes 12, tel qu'en 33. Lorsqu'on établit le courant ascendant de gaz dans le conduit 16 et que la fluidification du matériau 28 se produit, le niveau supérieur du matériau s'étendra en raison de cette fluidification, de telle sorte que le matériau sera réparti sur toute la longueur du tube, le niveau supérieur étant en 35.

L'air est dirigé latéralement sur le faisceau de tubes et, pour qu'il traverse les tubes deux fois, une cloison séparatrice 34 est prévue avec son bord

36 distant de la paroi 20 de manière à laisser entre eux un passage 38. L'air froid est dirigé latéralement à travers la portion inférieure du faisceau de tubes 10 à partir du conduit d'entrée 40; il passe vers le haut à travers le passage 38 et de là à travers la portion supérieure du faisceau, l'air réchauffé quittant le réchauffeur à travers le conduit de sortie 42.

Etant donné que l'emploi du matériau fluidifié à l'intérieur des tubes augmente grandement le taux de transmission thermique des gaz de combustion chauds vers la paroi des tubes, et en vue d'augmenter la transmission thermique totale du réchauffeur, les surfaces extérieures des tubes sont pourvues de surfaces d'échange thermique étendues, qui peuvent, comme représenté, avoir la forme d'anneaux ou disques annulaires 43 placés près les uns des autres tout le long des tubes et ayant leurs plans parallèles au courant d'air passant sur les tubes, étant entendu que cette disposition ne constitue qu'un exemple et que d'autres types de surfaces étendues peuvent être employés le cas échéant. De cette manière, c'est-à-dire en augmentant le taux de transmission thermique entre les gaz de combustion chauffants et les tubes et en prévoyant une surface d'échange thermique plus étendue sur les tubes et surfaces sur lesquelles l'air chauffé s'écoule, la capacité du réchauffeur d'air est notablement augmentée sans que son encombrement devienne plus grand.

La fluidification d'un matériau à l'état divisé, ayant une granulométrie particulière, se produit pour des vitesses de gaz fluidifiant placées dans certaines limites. La limite inférieure de cette vitesse est celle pour laquelle le matériau est entraîné avec le gaz ou, dans l'exemple représenté, le corps du matériau 28 ou une portion notable de celui-ci est entraîné et appliqué contre l'écran 32. Entre ces limites inférieure et supérieure de vitesse, le matériau discontinu sera maintenu à l'état fluidifié ainsi que cela est connu dans cette technique. En vue d'augmenter la marge de vitesses de gaz, à travers le conduit 18, avec lesquelles le réchauffeur d'air de l'invention peut être employé, des amortisseurs 44 sont prévus dans le conduit 16 immédiatement en amont du faisceau de tubes. Au moyen de ces amortisseurs, l'écoulement du gaz de combustion à travers une partie des tubes du faisceau 10 peut être réduit ou empêché, la partie du faisceau ainsi restreinte étant réglable par réglage indépendant de chacun des amortisseurs 44. Ainsi le faisceau de tubes peut être prévu et construit pour la vitesse de gaz maxima prévue à travers le conduit 16, tous les amortisseurs 44 étant en position ouverte lorsque cette vitesse maxima est établie, et la vitesse de gaz à travers les tubes 12 restant ainsi entre les limites convenant à l'établissement d'un état fluidifié. Lorsque

la vitesse du gaz décroît et se rapproche de la vitesse minima requise pour la fluidification, on peut déplacer l'un des amortisseurs 44, tel que celui voisin de la paroi 24, et l'amener à sa position de restriction de l'écoulement à travers les tubes placés directement au-dessus de lui. Il en résulte un accroissement de la vitesse de gaz à travers les autres tubes, ce qui maintient la vitesse dans ces tubes entre les limites requises pour la fluidification. Lorsque la vitesse décroît davantage, on peut fermer d'autres amortisseurs, la vitesse minimale à travers le conduit 16, pour laquelle le réchauffeur peut fonctionner, étant celle pour laquelle le matériau est fluidifié dans les tubes qui restent lorsque tous les amortisseurs 44 sont fermés. Grâce à cette disposition, on voit que la marge des vitesses du gaz à travers le conduit 16, pour lesquelles l'échangeur peut fonctionner, est grandement augmentée au-delà de ce qui pourrait être obtenu sans cette organisation de contrôle.

Il est à remarquer que tandis que des taux de transmission thermique élevés existent entre le matériau fluidifié et le gaz fluidifiant aussi bien qu'entre le matériau et les surfaces de l'échangeur avec lesquelles il est en contact, ce taux élevé n'est maintenu que tant que le matériau est à l'état fluidifié et non lorsqu'il est non fluidifié comme c'est le cas si la vitesse du gaz est supérieure ou inférieure aux limites qui produisent la fluidification.

Bien que l'invention ait été décrite dans le cas où les gaz de combustion s'écoulent à travers les tubes et le matériau fluidifié, tandis que l'air s'écoule sur les surfaces étendues, la relation inverse peut être adoptée.

Le lit fluidifié à utiliser pour la mise en œuvre de l'invention peut, par exemple, être constitué par des grains d'argile d'alumine poreuse auxquelles on donne des propriétés catalytiques fortement réactives par imprégnation avec des sels de platine ou de palladium. Quand le lit est du genre inactif, la matière peut avoir la forme de grains d'argile d'alumine à l'état non traité ou non imprégné.

Comme il va de soi et comme il résulte déjà de ce qui précède, l'invention ne se limite aucunement à celui de ses modes d'application non plus qu'à ceux des modes de réalisation de ses diverses parties ayant plus spécialement été indiqués; elle embrasse, au contraire, toutes les variantes.

#### RÉSUMÉ

L'invention a pour objet un appareil pour la transmission de la chaleur d'un gaz à un autre gaz à travers des parois métalliques, chaque gaz ayant substantiellement les mêmes caractéristiques d'échange thermique par rapport à une surface métallique, cet appareil présentant les caractéris-

tiques suivantes, considérées séparément ou en combinaison :

a. Il comporte plusieurs voies de passage parallèles et espacées latéralement, formées par des parois métalliques, lesdits passages étant tels qu'un gaz soit dirigé sur une surface de leurs parois et contenant un corps de matériau à l'état divisé maintenu en contact avec ladite surface et amené à l'état fluidifié par ledit gaz, la surface des parois desdits passages, opposée à la surface mentionnée plus haut, étant constituée avec une surface étendue ou élargie de manière à augmenter sa superficie par rapport à la première et recevant le courant de gaz;

b. Les parois métalliques sont constituées par un faisceau de tubes à travers lesquels passent les gaz de combustion chauds et dans lesquels est disposé un matériau à l'état divisé qui est fluidifié par le passage du gaz à travers lui, les tubes dudit faisceau étant pourvus à l'extérieur d'une surface étendue et l'air à chauffer étant dirigé sur leur surface extérieure;

c. Les surfaces étendues ou élargies sont formées par des ailettes, le courant de gaz en contact avec elles étant dirigé parallèlement au plan desdites ailettes;

d. Les parois métalliques sont formées par des tubes parallèles espacés avec leurs extrémités opposées fixées dans des plaques à tubes, le matériau à l'état divisé étant retenu à l'intérieur des tubes et la surface extérieure des tubes étant pourvue d'ailettes annulaires s'étendant radialement;

e. Des moyens sont prévus qui agissent pour restreindre le passage des gaz sur les parois de certaines des voies de passage, lesdits moyens étant réglables entre une position de fermeture et une position d'ouverture du passage.

L'invention vise plus particulièrement certains modes d'application ainsi que certains modes de réalisation desdits appareils échangeurs de chaleur; et elle vise plus particulièrement encore, et ce à titre de produits industriels nouveaux, les appareils du genre en question, comportant application desdites caractéristiques, les éléments et outils spéciaux propres à leur établissement ainsi que les installations comprenant de semblables appareils.

Société dite : COMBUSTION ENGINEERING, Inc.

Par procuration :

PLASSERAUD, DEVANT, GUTMANN, JACQUELIN.

Wärmetauscher

